

# 集団免疫を高めるインフルエンザ・ワクチンの選択的接種

齋藤 正也 データ同化研究開発センター 特任助教

新型インフルエンザ・ウィルスは突然変異や遺伝子再集合により継続的に発生する。これらの新型ウィルスに対しては、免疫がないために、容易に世界的流行が発生し、これがいわゆるパンデミックである。最近では、2009年にパンデミックが発生し日本にも上陸があったが、幸い弱毒性であったために感染規模のわりには社会的影響は限定的なものであった。しかし、強毒性の鳥インフルエンザが存在し、少数ながら人間への感染例が確認されている。安定した人同士の感染力を持つウィルスが派生した場合、引き起こされるパンデミックの影響は極めて深刻であると考えられる。

本研究では、このような背景から感染を封じ込めるために有効な介入政策を選定するためのシミュレータ開発を行う。特に、準備できるワクチンには限りがあるため、どのような社会的集団にワクチン接種を実施すれば、集団免疫を高めることができるかを議論する。

## マルチエージェント・シミュレーション

### 都市を想定したシミュレータ

- 都市を鉄道で連結された地区の集まりとしてモデル化する。
- さらに、地区は公共空間(会社、学校、家庭など)の集まりとする。住人は社会的役割(従業員、学生、主婦)毎のスケジュールに従って、これらの公共空間内を移動する。
- 行動の結果形成されるそれぞれの集団内で、感染は確率的に伝達される。

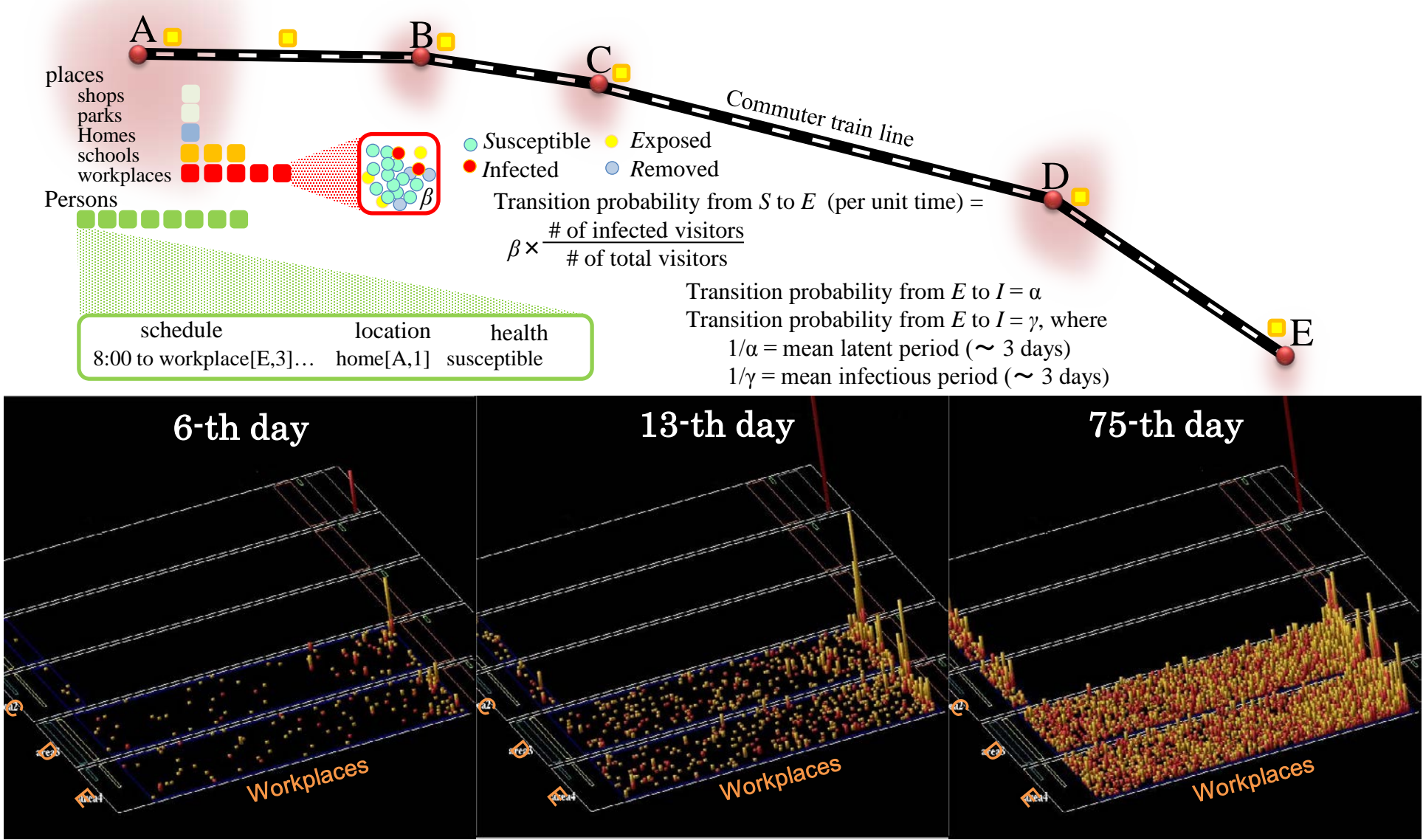


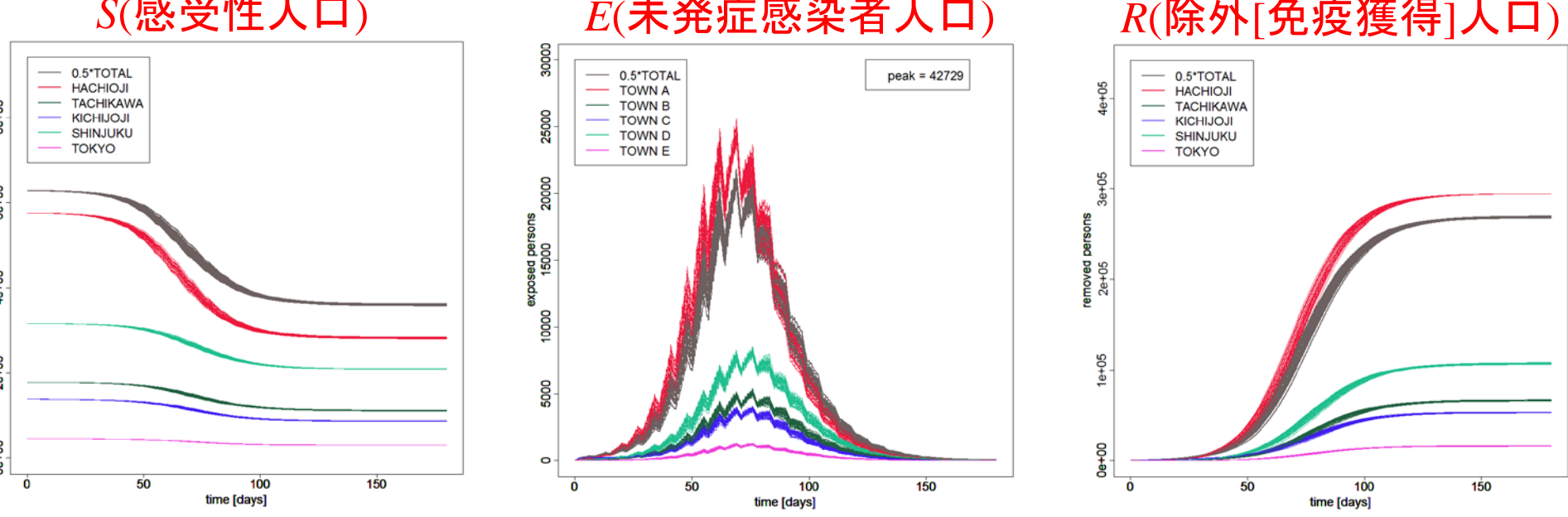
図 シミュレーションの模式図とシミュレーション例。(上)シミュレーション対象とするモデル都市の構造と感染伝達および症状の進行を表現する確率過程。(下) 中心地区D,Eに所在する会社内での感染の広がり

## 無介入時(ベースライン)シミュレーション

### モデル都市設定

- 人口構成
- |      | 八王子市    | 立川市     | 武蔵野市    | 新宿区     | 千代田区   |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 人口   | 571,641 | 176,866 | 138,684 | 314,861 | 446,80 |
| 会社   | 100     | 100     | 100     | 2000    | 2000   |
| 学校   | 70      | 20      | 12      | 29      | 8      |
| スーパー | 10      | 10      | 10      | 10      | 10     |
| 公園   | 2       | 2       | 2       | 2       | 2      |
- 基礎再生産定数 (感染伝達効率)
- | 鉄道 | 学校  | 会社  | 公園  | 店   | 家庭  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ~6 | 3.6 | 3.0 | 1.0 | 0.6 | 2.4 |
- (鉄道は、混雑率により増減する)

### シミュレーション結果



- 異なる32の感染者(600人)選択に対するシミュレーション結果
- SEIRライクな単峰型
- ピークは75日付近、約42,000人 (人口の3.5%)
- 最終時刻(180日目)での罹患率は40%

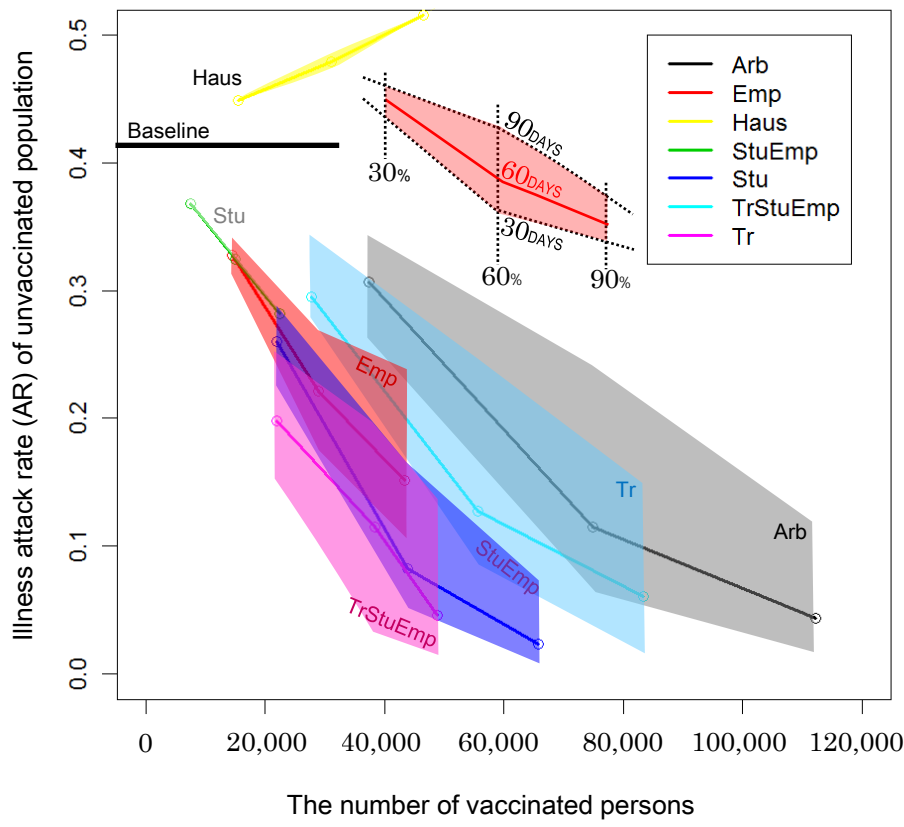
## ワクチンのモデルと強度の調整

- ワクチンの効果を記述するパラメータとして、接種したワクチンが0でない効果をもたらす確率 $\mu$ とワクチンの強度をあらわす $v(\in[0,1])$ を導入する。
- ワクチンは発症者と接触したときの被感染確率を低下させ、仮に感染したとしても感染期間が短くなる効果をもたらすものとする。
  - $S \rightarrow E$ の遷移確率を  $\beta \times (\text{滞在場所での発症者の割合}) \times v$  に修正する。
  - $I \rightarrow R$ の遷移確率を  $\gamma/v$  に修正する(平均感染期間が $v/\gamma$ になる)

- パラメータ( $\mu, v$ )を調整して、ワクチンの効果を平均的な強度にしたい。ここではJefferson et al.(2010)によるインフルエンザ様疾患における成人での efficacy値(60~80%)を目安にする。Efficacyはワクチン接種グループと非接種グループとの間の罹患率の比によってワクチンの効力を測るもので、以下の式で定義される。
  - Efficacy = 1 - (接種グループ内での罹患率)/(非接種グループ内での罹患率)
- Efficacyの一致とともに、小児および高齢者は、成人よりも効果が小さいことが報告されていることを考慮して、以下の設定とした。

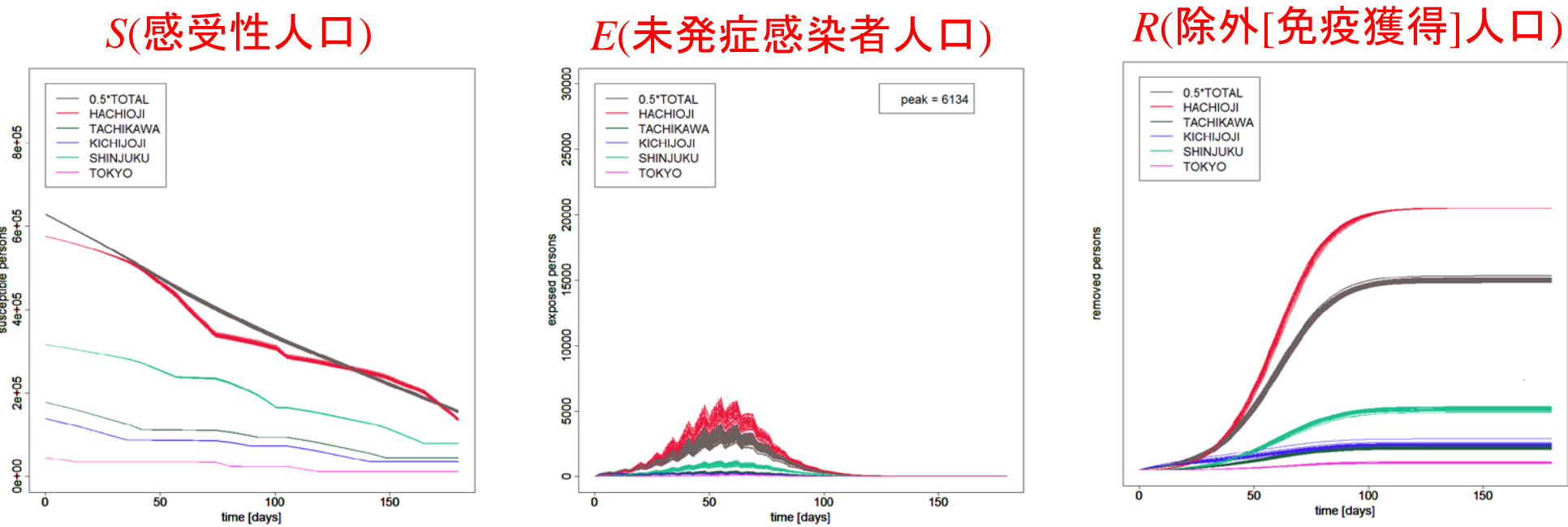
age	1-5	5-65	65-
$\mu$ (大きいほど強力)	0.6	0.8	0.5
$v$ (小さいほど強力)	0.8	0.4	0.8

## 接種対象選択の効果



- 各接種対象群(Stu:学生, Emp:会社員, StuEmp:学生+会社員, Tr: 鉄道利用者, Arb: 任意)に対して、その30,60,90%を30,60,90日間でそれぞれ接種したときの接種者数と非接種群内の罹患率の関係。
- 非接種群内の罹患率の低減 = 集団免疫の強化

- 同数・同期間の接種を行った場合(例えば、人口の半数に相当する人数に3か月間で接種)、任意選択の場合は罹患率は30%までしか低減しないのに対し(無介入時40%)、学生と会社員に集中的に接種した場合は、10%まで低減することができる。
- 最初の3か月は学生と会社員に接種し、残りの3か月間でそれ以外の住人に接種するプログラムでは初期感染者の選択に依存するが(無介入時と同様に32例を計算)、罹患率を5~7%にすることができる。



Jefferson T, et al. (2010) Vaccines for preventing influenza in healthy adults (Review), The Cochrane Library 2010, Issue 7.